

新竹市第四十一屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：物理組

組 別：國小組

作品名稱：神奇翻滾車的祕密

關 鍵 詞：翻滾次數、重心、摩擦力

編 號：

神奇翻滾車的祕密

摘要

一幕卡通的翻車場景，聯想到生活中車禍的發生，讓我們開始思考，如何讓車子遇到斜坡時，可翻滾得平穩、安全。因此，【在一定時間內，車輛可以翻滾很多次】就成了本次研究的主题。

我們列出幾項操作變因，車輪大小、寬度、添加材質，車頂長度、寬度、硬度，及重心位置等進行實驗，觀察車子在 45 秒內翻滾的次數。其中經歷手鋸切割的車輪不圓、T 字軸未能安裝在車輪圓心、電池電力不足、如何定義車頂塑膠片的軟硬度等困難，進而想出以切圓器、中心衝、電壓測試器、塑膠片吊掛砝碼並測量變形量等方式來克服這些問題。

最終得出，車輪直徑 8 cm、較寬的車輪寬度 (22 mm)、適中的車輪摩擦力材質 (靜摩擦力 115.5 g)、適中的車頂長度 (25 cm)、較寬的車頂寬度 (16 cm)、較硬的車頂硬度 (變形量 3.4 cm)、較前面的車輛重心位置 (前 1.5 cm)，能使車輛的翻滾次數最多。

壹、前言

一、研究動機：

2021 年一部可愛又療癒的動畫卡通「天竺鼠車車」深獲大人、小孩的喜愛，下課時間，同學們常常聚在一起討論卡通的情節，其中一個橋段是天竺鼠車車被撞翻後，無法自行翻回的可愛畫面，進而讓我們聯想到在現實生活中，汽車因撞擊到前方障礙物導致車子翻轉 180 度，造成人車傷亡、救援困難的慘況。

因此，我們決定研究如何讓車子可以輕易突破路面上的障礙物後再繼續行走。我們發現當車子遇到傾斜路面時，其重心超過其質量中心，增加慣性，則車子會往後翻滾回到原來的位置，若要增加車子翻滾的穩定性，車頂的長度、寬度、硬度，車輪的大小、寬度，以及車輪與地面的摩擦力等都是重要的因素。

二、研究目的：

- (一)探討各種可能會影響車子翻滾效果的變因。
- (二)研究車輪大小對翻滾次數的影響。
- (三)研究車輪寬度對翻滾次數的影響。
- (四)研究車輪表面材質對翻滾次數的影響。
- (五)研究車頂長度對翻滾次數的影響。
- (六)研究車頂寬度對翻滾次數的影響。
- (七)研究車頂硬度對翻滾次數的影響。
- (八)研究車子重心位置對翻滾次數的影響。

三、文獻探討：

(一)齒輪盒的組裝方式：市面上所販售的齒輪盒材料包，其內容物大致上有以下這幾種，

- 1.馬達-作為驅動物體的動力來源。轉速為一秒 200 轉，電壓 3V。
- 2.公齒輪座、母齒輪座-固定馬達、齒輪與傳動軸。
- 3.大齒輪-作用為動力傳輸，位於齒輪盒內的傳動軸中心。
- 4.蝸桿齒輪-可以提供動力輸出方向的切換，組裝於馬達的軸上。
- 5.平齒輪-傳動元件，可以提供齒輪作傳動或是固定裝置之用。
- 6.減速齒輪-可提供作為減速的功能，並提高裝置所需的扭力。
- 7.長、短轉軸-為齒輪組的主要傳動軸。




其中的減速齒輪雖可提高裝置所需的扭力，但會使翻滾車的行駛速度變慢，所以在此實驗中，我們不安裝減速齒輪於齒輪盒內。其次蝸桿齒輪在組裝於馬達的軸上時需要距離馬達約 1~2mm 的空隙，避免直接碰觸到馬達，造成運轉時兩接觸面產生的摩擦力太大，而導致馬達轉不動或轉速受影響。齒輪、齒輪座及馬達等含塑膠材質材料，在組裝過程中，盡量不要直接敲打，可用推或押的方式來進行組裝，避免零件損壞。

(二)車輪的切割方式：製作車輪的時候，四個車輪的大小需要一致，只要有稍點偏差，都會容易造成翻滾車在行駛中走偏、翻滾失敗等。然而學生手工以線鋸切割車輪，會有些微誤差，使車輪並不圓，讓每次實驗都受到影響。因此，本研究改以割圓器來切割密集板，確保每個車輪都很圓且大小一致，減少干擾研究的因素。

貳、研究設備及器材

一、車體基本材料：

密集板、電池盒、電線、馬達、齒輪盒、螺絲、螺帽、冰棒棍、齒輪組。

			
密集板	電池盒	電線	馬達
			
螺絲、螺帽	冰棒棍	齒輪組	齒輪盒

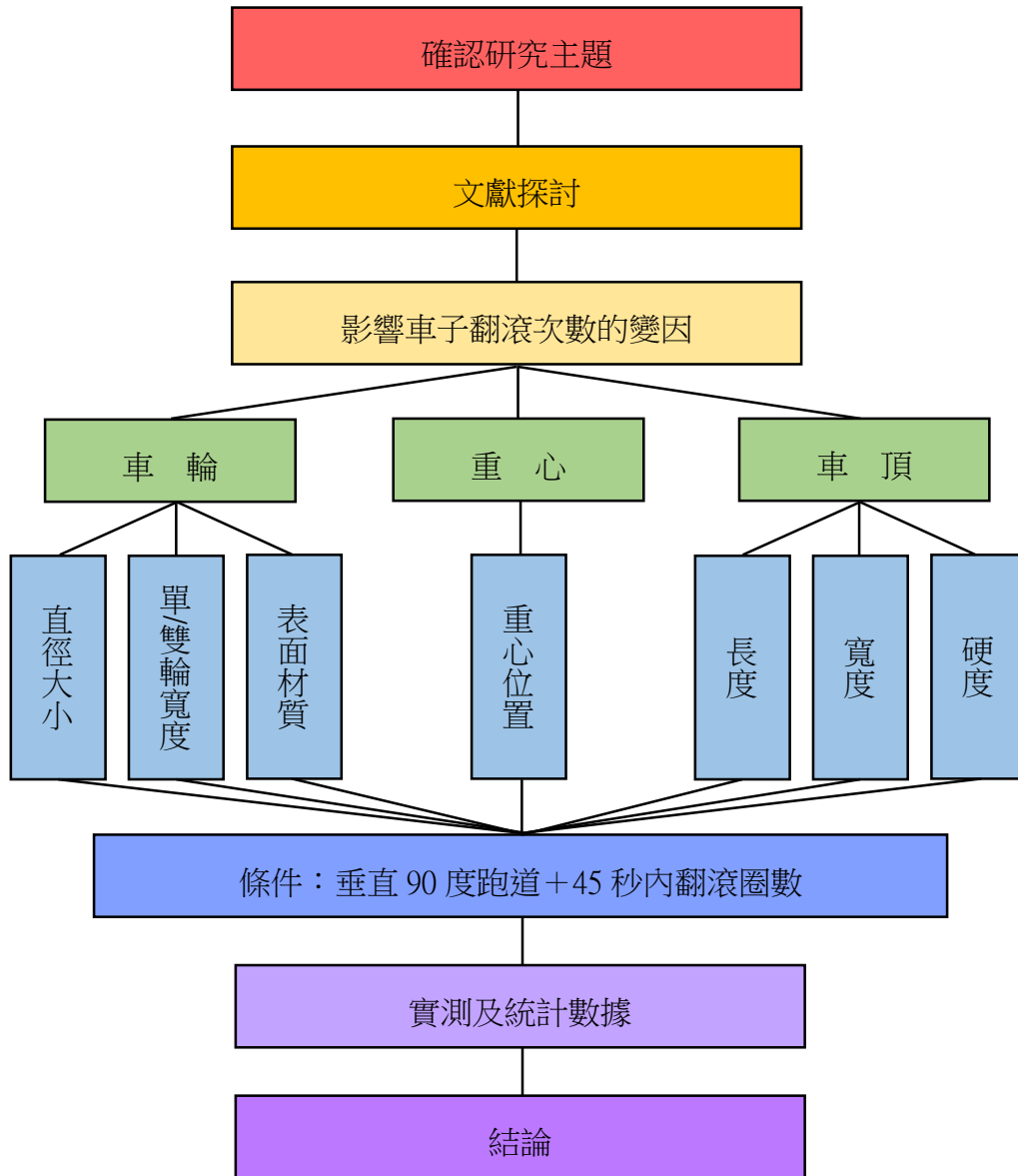
二、研究器材及設備：

手搖鑽/鑽頭、熱熔槍/膠、線鋸/鋸條、防鑽板、螺絲起子、尖嘴鉗、尺/游標尺、砂紙、膠皮、氣球、絕緣膠帶、針車油、塑膠地墊、塑膠板、電動鑽、割圓器、中心衝、彈簧秤、電子秤、計時器、美工刀、電池、電壓測試器、雷射測距儀。

				
手搖鑽、鑽頭	熱熔槍、膠	線鋸	線鋸條	防鑽板
				
螺絲起子	尖嘴鉗	尺、游標尺	砂紙	膠皮
				
氣球	絕緣膠帶	針車油	塑膠地墊	塑膠板
				
電動鑽	割圓器	中心衝	彈簧秤	電子秤
				
計時器	美工刀	電池	電壓測試器	雷射測距儀

參、研究過程或方法

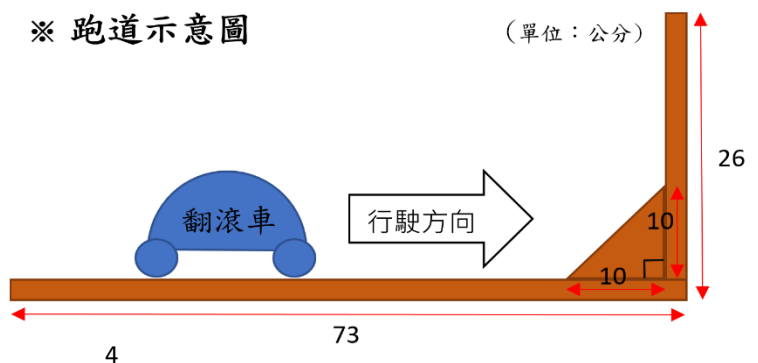
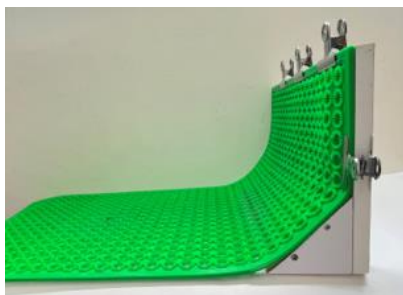
一、研究架構



二、前置作業


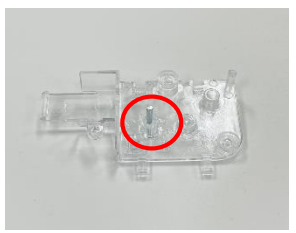
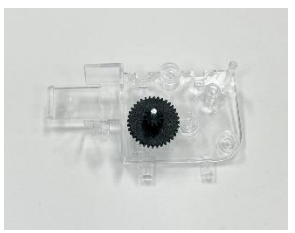

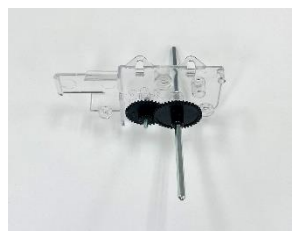
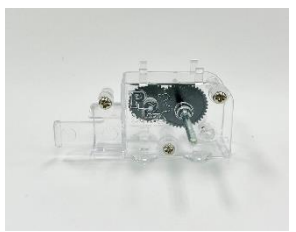

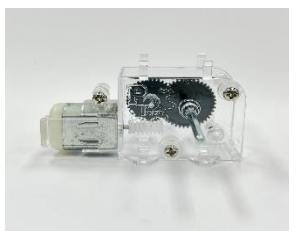
(一)製作跑道：將木板進行裁切並裝釘成一個直角 90 度的背板，再利用大型夾子把塑膠地墊夾好固定，簡易跑道即完成。

※ 跑道示意圖






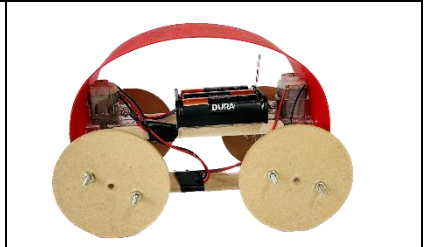


(二)製作車體：

1.齒輪盒製作流程圖：(步驟如下)

			
1. 齒輪盒組裝過程所需用到的材料。	2. 將短的圓柱棒放到圖中側蓋中紅色圈圈的孔內。	3. 把小齒輪放到圓柱棒的位置。	4. 將六角柱穿過大齒輪中心的孔洞內
			
5. 再將大齒輪與六角柱棒穿過側蓋內的圓孔。	6. 兩個側蓋組裝闔上，並在側邊鎖上螺絲釘。	7. 將蝸桿齒輪壓入馬達軸心，並與馬達保持 2 mm。	8. 將上步驟完成後的馬達裝進齒輪盒中。

2.車體與齒輪盒組裝流程圖：(步驟如下)

		
1. 在密集板上裁切出一塊 15 x 2.5 cm 的長方形。	2. 用割圓器在密集板上裁切出四個大小相同的車輪。	3. 分別在車輪的圓心鎖上 T 字軸。
		
4. 將兩個齒輪盒直立黏在長條形木板的前後端，並在齒輪盒兩側黏貼冰棒棍。	5. 將電池盒黏在靠近前輪的冰棒棍上，將前後馬達用並聯方式連接，再連電池盒。	6. 最後裝上四個車輪，並在齒輪盒兩側鎖上車頂。

三、研究過程

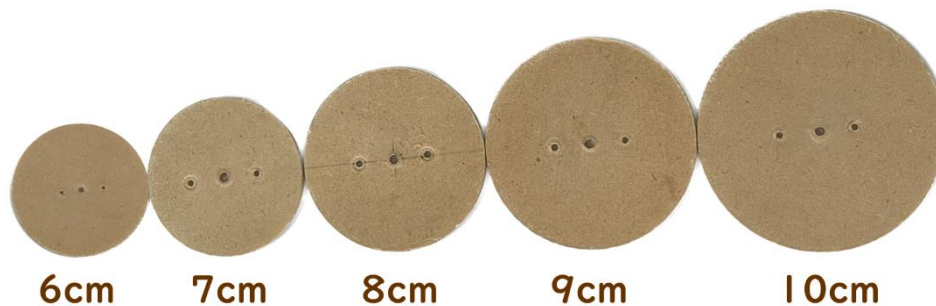
(一) 車輪大小對翻滾次數的影響

1. 實驗設計：

- (1) 車身：長 15 公分，寬 2.5 公分
- (2) 車輪大小：直徑 6、7、8、9、10 公分，寬度 3 毫米(單輪)
- (3) 車頂大小：長 25 公分，寬 8 公分

2. 實驗步驟：

- (1) 利用割圓器切割出直徑 6、7、8、9、10 公分的圓形車輪，並用砂紙去除毛邊。
- (2) 將車輪鎖上 T 字軸後，再把車輪與車體結合。
- (3) 分別用直徑 6、7、8、9、10 公分的車輪來進行實驗。
- (4) 車子放置於跑道上並記錄 45 秒內的翻滾次數。
- (5) 觀察車輪大小對翻滾次數的影響。



3. 實驗結果：

車輪直徑 \ 翻滾次數	1	2	3	4	5	6	7	去除最大值、 最小值之平均	去除最小值 取 5 次平均
6cm	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7cm	6	9	4	2	12	14	7	7.6	9.6
8cm	16	19	19	19	18	6	19	18.2	18.8
9cm	2	7	4	5	5	1	3	3.8	4.8
10cm	0	0	1	0	0	2	1	0.4	0.8

(二) 車輪寬度對翻滾次數的影響

1. 實驗設計：

- (1) 車身：長 15 公分，寬 2.5 公分
- (2) 車輪大小：直徑 8 公分，寬度 6、10、14、18、22 毫米(雙輪)
- (3) 車頂大小：長 25 公分，寬 8 公分

2. 實驗步驟：

- (1) 將兩個直徑 8 公分的車輪，中間鎖上數個螺帽以隔出不同間距。
 註：每個螺帽寬度 2 毫米、車輪寬度 3 毫米。
- (2) 分別製作出寬度 6、10、14、18、22 毫米的車輪。
- (3) 將車輪鎖上 T 字軸後，再把車輪與車體結合。
- (4) 分別用不同寬度的車輪進行實測。
- (5) 車子放置於跑道上並記錄 45 秒內的翻滾次數。
- (6) 觀察車輪大小對翻滾次數的影響。



3. 實驗結果：

車輪寬度 \ 翻滾次數	1	2	3	4	5	6	7	去除最大值、 最小值之平均	去除最小值 取 5 次平均
	6mm	6	5	7	10	7	8		
10mm	5	3	6	12	13	4	11	7.6	9.4
14mm	11	7	14	9	3	11	4	8.4	10.4
18mm	5	7	5	15	10	14	11	9.4	11.4
22mm	9	15	24	6	19	23	12	15.6	18.6

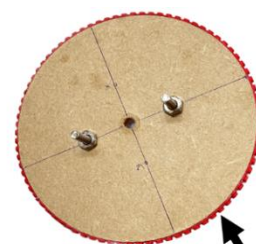
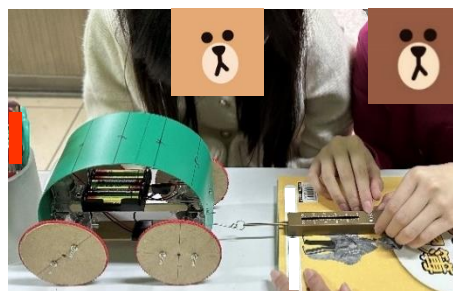
(三) 車輪表面材質對翻滾次數的影響

1. 實驗設計：

- (1) 車身：長 15 公分，寬 2.5 公分
- (2) 車輪大小：直徑 8 公分，寬度 3 毫米(單輪)
- (3) 車頂大小：長 25 公分，寬 8 公分
- (4) 車輪表面材質：砂紙、氣球、桌球拍面、熱熔膠、絕緣膠帶

2. 實驗步驟：

- (1) 先測量各種材質的靜摩擦力。(如右圖)
- (2) 分別用 5 種不同的材質黏貼在車輪表面上。
- (3) 將車輪鎖上 T 字軸後，再把車輪與車體結合。
- (4) 用彈簧秤拉動車輛，將車輛移動時的彈簧秤數據記錄下來(靜摩擦力)。
- (5) 分別用不同材質的車輪進行實測。
- (6) 車子放置於跑道上並記錄 45 秒內的翻滾次數。
- (7) 觀察車輪不同材質、不同摩擦力對翻滾次數的影響。



車輪表面材質：桌球拍面

3. 實驗結果：

表面材質	翻滾次數	靜摩擦力 (g)	1	2	3	4	5	6	7	去除最大值、最小值之平均	去除最小值取 5 次平均
砂紙		235	3	3	2	1	3	2	2	2.4	2.6
氣球		129	3	2	1	5	2	1	3	2.2	3
桌球拍面		183.5	4	3	2	1	3	1	4	2.6	3.2
熱熔膠		85	8	2	1	3	4	6	2	3.4	4.6
絕緣膠帶		64	7	7	4	3	6	13	4	5.6	7.4
原密集板 (對照組)		115.5	1	1	5	17	3	12	6	5.4	8.6

註：靜摩擦力的數據是以彈簧秤拉動黏貼有不同材質的車輪，觀察車子需受到多少力才會被拉動。

(四) 車頂長度對翻滾次數的影響

1. 實驗設計：

- (1) 車身：長 15 公分，寬 2.5 公分
- (2) 車輪大小：直徑 8 公分，寬度 3 毫米(單輪)
- (3) 車頂大小：長 23、25、27、29 公分，寬 8 公分

2. 實驗步驟：

- (1) 分別切割出長 23、25、27、29 公分，寬 8 公分的車頂。
- (2) 再把車頂鎖於前、後齒輪盒。
- (3) 將車輪鎖上 T 字軸後，再把車輪與車體結合。
- (4) 分別用不同長度的車頂進行實測。
- (5) 車子放置於跑道上並記錄 45 秒內的翻滾次數。
- (6) 觀察車頂長度對翻滾次數的影響。



車頂長度： 23cm 25cm 27cm 29cm

3. 實驗結果：

車頂 長度	翻滾 次數	1	2	3	4	5	6	7	去除最大值、 最小值之平均	去除最小值 取 5 次平均
	1	2	3	4	5	6	7			
23cm		0	3	2	1	2	1	1	1.4	1.8
25cm		3	8	3	6	4	3	8	4.8	5.8
27cm		8	4	1	2	4	6	1	3.4	4.8
29cm		1	2	0	0	0	2	1	0.8	1.2

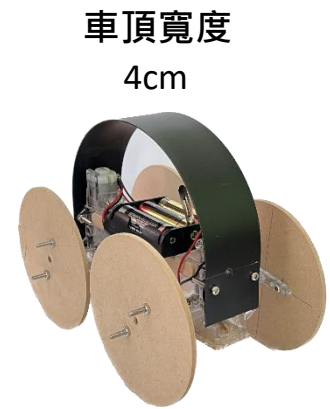
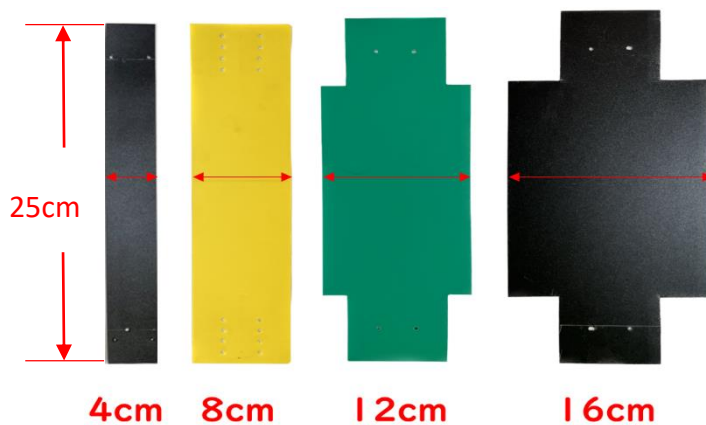
(五) 車頂寬度對翻滾次數的影響

1. 實驗設計：

- (1) 車身：長 15 公分，寬 2.5 公分
- (2) 車輪大小：直徑 8 公分，寬度 3 毫米(單輪)
- (3) 車頂大小：長 25 公分，寬 4、8、12、16 公分

2. 實驗步驟：

- (1) 分別切割出長 25 公分，寬 4、8、12、16 公分的車頂。
- (2) 再把車頂鎖於前、後齒輪盒。
- (3) 將車輪鎖上 T 字軸後，再把車輪與車體結合。
- (4) 分別用不同寬度的車頂進行實測。
- (5) 車子放置於跑道上並記錄 45 秒內的翻滾次數。
- (6) 觀察車頂寬度對翻滾次數的影響。



3. 實驗結果：

車頂寬度 \ 翻滾次數	翻滾次數							去除最大值、 最小值之平均	去除最小值 取 5 次平均
	1	2	3	4	5	6	7		
4cm	2	7	1	6	7	0	3	3.8	5
8cm	10	8	1	12	2	3	2	5	7
12cm	11	5	2	4	7	6	9	6.2	7.6
16cm	7	4	7	5	4	9	4	6.4	8.4

(六) 車頂硬度對翻滾次數的影響

1. 實驗設計：

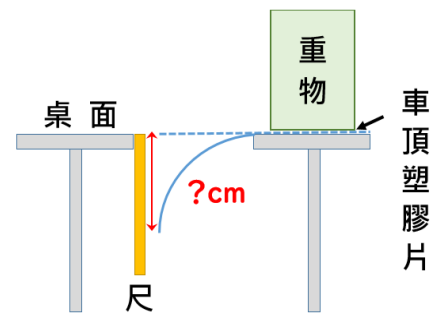
- (1) 車身：長 15 公分，寬 2.5 公分
- (2) 車輪大小：直徑 8 公分，寬度 3 毫米(單輪)
- (3) 車頂大小：長 25 公分，寬 8 公分
- (4) 車頂硬度：A(3.4cm)、B(5.5cm)、C(6.7cm)、D(7.9cm)

2. 實驗步驟：

- (1) A. 先測量 A、B、C、D 四片車頂的硬度。(如右圖)
 - B. 將車頂一端以重物壓住，露出 15 公分的長度。
 - C. 一端用夾子夾住，並在夾子上垂掛 33g 的螺帽。
 - D. 計算出車頂受到大螺帽的重量所彎曲的長度。
- 註：車頂的變形量愈大，代表車頂的硬度愈軟。



- (2) 再把不同硬度的車頂分別鎖於前、後齒輪盒。
- (3) 將車輪鎖上 T 字軸後，再把車輪與車體結合。
- (4) 分別用不同硬度的車頂進行實測。
- (5) 車子放置於跑道上並記錄 45 秒內的翻滾次數。
- (6) 觀察車頂硬度對翻滾次數的影響。



測試車頂塑膠硬度示意圖

3. 實驗結果：

車頂硬度 \ 翻滾次數	1	2	3	4	5	6	7	去除最大值、 最小值之平均	去除最小值 取 5 次平均
A (3.4cm)	1	5	3	5	12	4	17	5.8	8.6
B (5.5cm)	3	8	3	6	4	3	8	4.8	5.8
C (6.7cm)	3	2	4	7	8	3	1	3.8	5
D (7.9cm)	7	4	6	0	5	2	0	3.4	4.8

註：硬度的公分數值愈大，代表車頂的塑膠片變形量愈大，則硬度愈軟。

註：車頂的硬度由硬至軟，分別為 A(3.4cm) > B(5.5cm) > C(6.7cm) > D(7.9cm)。

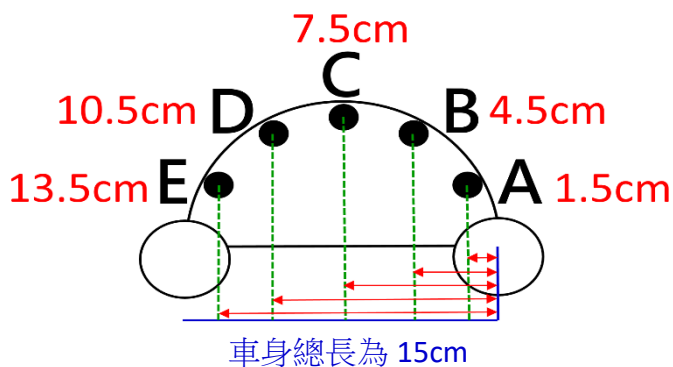
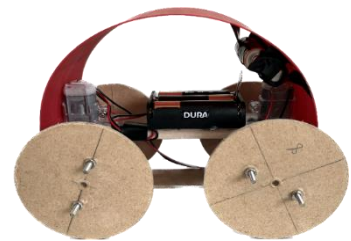
(七) 重心位置對翻滾次數的影響

1. 實驗設計：

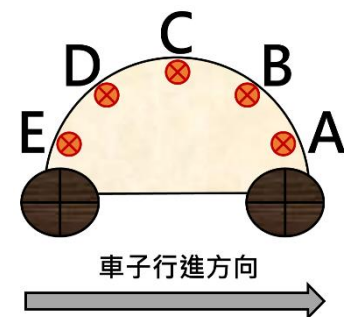
- (1) 車身：長 15 公分，寬 2.5 公分
- (2) 車輪大小：直徑 8 公分，寬度 3 毫米(單輪)
- (3) 車頂大小：長 25 公分，寬 8 公分
- (4) 重心位置：A-前(1.5cm)、B-中前(4.5cm)、C-中(7.5cm)、D-中後(10.5cm)、E-後(13.5cm)

2. 實驗步驟：

- (1) 用膠帶將 2 顆共重 48 公克的乾電池黏在車頂下方不同的位置。(如下圖)
 註：A~E 的數值(cm)，分別代表電池的垂直點到車頭的距離。
- (2) 再把車頂鎖於前、後齒輪盒。
- (3) 將車輪鎖上 T 字軸後，再把車輪與車體結合。
- (4) 分別用不同重心位置的車頂進行實測。
- (5) 車子放置於跑道上並記錄 45 秒內的翻滾次數。
- (6) 觀察重心位置對翻滾次數的影響。



重心位置示意圖



3. 實驗結果：

重心位置	翻滾次數							去除最大值、 最小值之平均	去除最小值 取 5 次平均
	1	2	3	4	5	6	7		
A-前 (1.5cm)	7	5	4	11	1	2	1	3.8	5.8
B-中前 (4.5cm)	5	2	0	2	0	6	6	3.6	4.2
C-中 (7.5cm)	0	6	0	4	1	1	0	1.2	2.4
D-中後 (10.5cm)	0	3	0	2	0	1	2	1	1.6
E-後 (13.5cm)	0	1	0	0	0	0	1	0.2	0.4

肆、研究結果

一、車輪大小對翻滾次數的影響

說明：分別用以不同直徑 6、7、8、9、10 公分的車輪，進行 45 秒的翻滾次數實驗。

結果：從下表 1 可得知，在 45 秒內，車子平均翻滾的次數，由多至少依序為(如下)

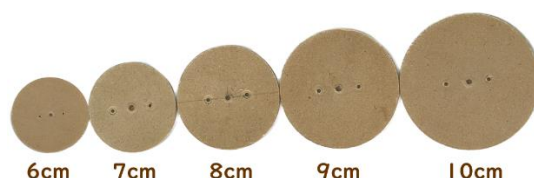
◆車輪直徑 8 公分，翻滾次數為 18.8 圈

◆車輪直徑 7 公分，翻滾次數為 9.6 圈

◆車輪直徑 9 公分，翻滾次數為 4.8 圈

◆車輪直徑 10 公分，翻滾次數為 0.8 圈

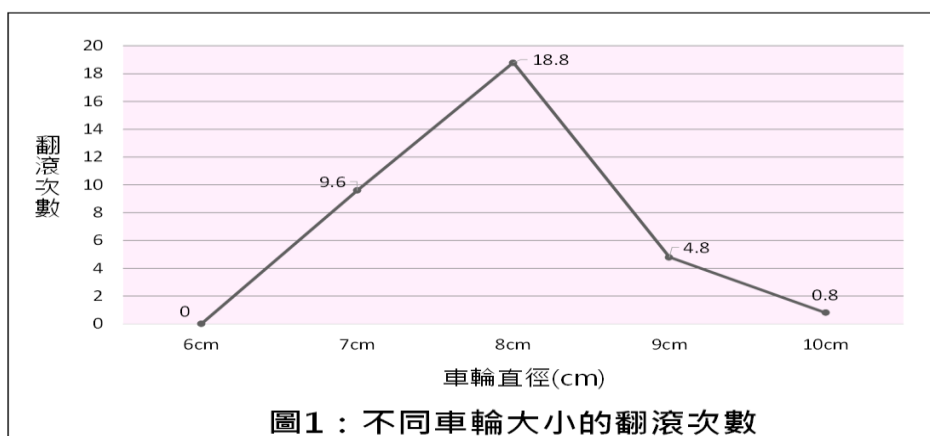
◆車輪直徑 6 公分，翻滾次數為 0 圈



車輪直徑 8 公分的車子，在行駛時速度適中，翻滾的狀況也是最平穩的。直徑 6 公分的車輪，雖然行駛速度較快，但是因為車輪太小，使得車子底盤太低，導致在爬坡時底盤會撞擊到爬坡面而卡住，所以根本無法翻滾回來。車輪直徑 10 公分的車子，因為車輪過大，造成車體總重量較重、整體車型變得較高，因此不但行駛速度慢，爬坡力也差，在翻滾時需要花費較多的時間，翻滾的次數並不理想，僅優於車輪直徑 6 公分的次數。

表 1：不同車輪大小的翻滾次數

翻滾次數 車輪直徑	1	2	3	4	5	6	7	去除最大值、 最小值之平均	去除最小值 取 5 次平均
6cm	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7cm	6	9	4	2	12	14	7	7.6	9.6
8cm	16	19	19	19	18	6	19	18.2	18.8
9cm	2	7	4	5	5	1	3	3.8	4.8
10cm	0	0	1	0	0	2	1	0.4	0.8



二、車輪寬度對翻滾次數的影響

說明：用數顆小螺帽鎖在兩片車輪中間，分別隔出不同寬度 6、10、14、18、22 毫米的車輪，進行 45 秒的翻滾次數實驗。

結果：從下表 2 可得知，在 45 秒內，車子平均翻滾的次數，由多至少依序為(如下)

◆車輪寬度 22 毫米，翻滾次數為 18.6 圈

◆車輪寬度 18 毫米，翻滾次數為 11.4 圈

◆車輪寬度 14 毫米，翻滾次數為 10.4 圈

◆車輪寬度 10 毫米，翻滾次數為 9.4 圈

◆車輪寬度 6 毫米，翻滾次數為 8.2 圈



車輪寬度為 22 毫米的車子，在 45 秒內翻滾的次數最多，因為車輪寬度最寬，與跑道的接觸面積最大，所以在行駛過程中最平穩，翻滾回來時也比較不容易搖晃而產生軌跡偏離軌道的現象。車輪寬度為 6 毫米的車子，在行駛過程中，車輪容易卡進跑道的紋路凹槽內而導致阻力增加，因此翻滾的次數最少。

表 2：不同車輪寬度的翻滾次數

翻滾次數 車輪寬度	1	2	3	4	5	6	7	去除最大值、 最小值之平均	去除最小值 取 5 次平均
6mm	6	5	7	10	7	8	9	7.4	8.2
10mm	5	3	6	12	13	4	11	7.6	9.4
14mm	11	7	14	9	3	11	4	8.4	10.4
18mm	5	7	5	15	10	14	11	9.4	11.4
22mm	9	15	24	6	19	23	12	15.6	18.6

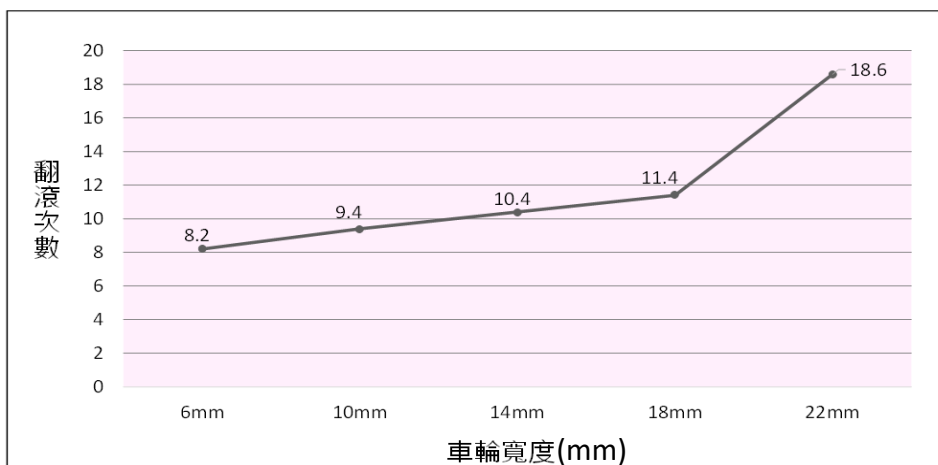


圖 2：不同車輪寬度的翻滾次數

三、車輪表面材質對翻滾次數的影響

說明：在車輪表面分別黏貼不同的材質，有砂紙、氣球、桌球拍面、熱熔膠、絕緣膠帶等五種，進行 45 秒翻滾次數實驗，再與表面完全不黏貼的原密集板車輪比較。

結果：從下表 3 可得知，在 45 秒內，車子平均翻滾的次數，由多至少依序為(如下)

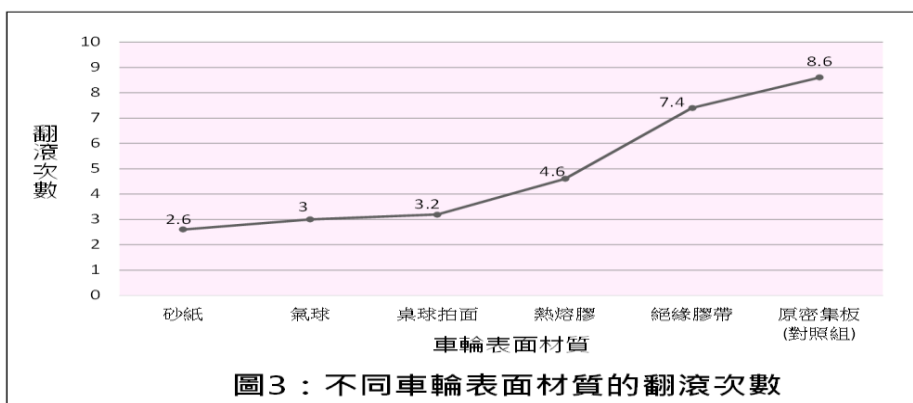
- ◆車輪表面材質是原密集板，翻滾次數為 8.6 圈
- ◆車輪表面材質是絕緣膠帶，翻滾次數為 7.4 圈
- ◆車輪表面材質是熱熔膠，翻滾次數為 4.6 圈
- ◆車輪表面材質是桌球拍面，翻滾次數為 3.2 圈
- ◆車輪表面材質是氣球，翻滾次數為 3 圈
- ◆車輪表面材質是砂紙，翻滾次數為 2.6 圈



增添不同的表面材質使其摩擦力增加，但跑道本身表面已是凹凸不平狀，再使車輪表面增加摩擦力後，導致車輪與跑道間的摩擦力太大，車子在行駛時速度變慢、翻滾次數變少，甚至材質為桌球拍面和熱熔膠這兩種，因表面凹凸不平較明顯，也較容易產生偏離軌道的現象。材質為絕緣膠帶，因表面較光滑平整、摩擦力較小，所以與原本無添加材質的車輪相比，差異較小，故無添加任何材質的原密集板車輪，反而翻滾次數最多。

表 3：不同車輪表面材質的翻滾次數

翻滾次數 表面材質	靜摩擦力 (g)	1	2	3	4	5	6	7	去除最大值、 最小值之平均	去除最小值 取 5 次平均
砂紙	235	3	3	2	1	3	2	2	2.4	2.6
氣球	129	3	2	1	5	2	1	3	2.2	3
桌球拍面	183.5	4	3	2	1	3	1	4	2.6	3.2
熱熔膠	85	8	2	1	3	4	6	2	3.4	4.6
絕緣膠帶	64	7	7	4	3	6	13	4	5.6	7.4
原密集板 (對照組)	115.5	1	1	5	17	3	12	6	5.4	8.6

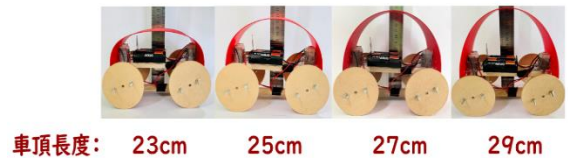


四、車頂長度對翻滾次數的影響

說明：分別用不同長度 23、25、27、29 公分的車頂，進行 45 秒的翻滾次數實驗。

結果：從下表 4 可得知，在 45 秒內，車子平均翻滾的次數，由多至少依序為(如下)

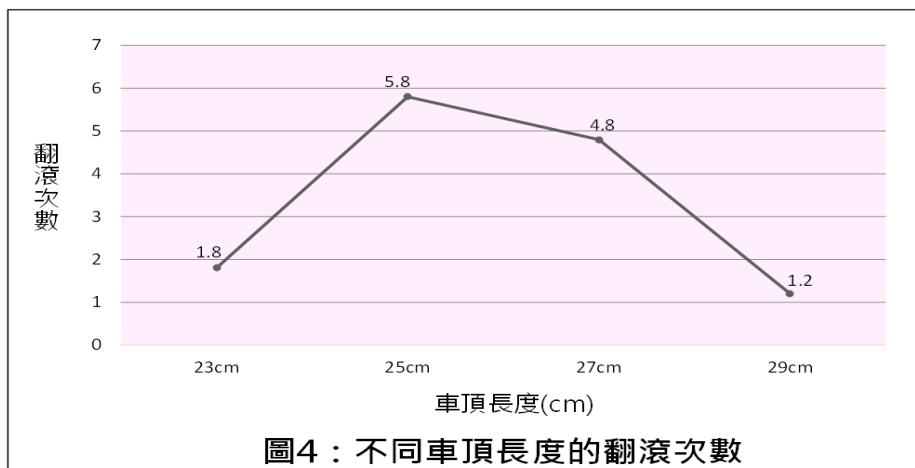
- ◆車頂長度 25 公分，翻滾次數為 5.8 圈
- ◆車頂長度 27 公分，翻滾次數為 4.8 圈
- ◆車頂長度 23 公分，翻滾次數為 1.8 圈
- ◆車頂長度 29 公分，翻滾次數為 1.2 圈



車頂長度 29 公分的車子，在翻滾的過程中，因為車頂長，相對的翻滾回來的距離也比較長，故所花費的時間較多、翻滾次數就較少，另一個主要原因是，車頂過長造成整體車型偏長條橢圓形，導致在翻滾時車頂的彈力過大，會不斷的彈跳多次後才翻回來，使其翻回正面時軌跡易偏離軌道甚至翻不回正面。而車頂長度 23 公分的車子，因為車頂太短，造成整體車型弧度較方正、平坦，導致車子不易翻滾，且翻滾回來時距離較短，車輪落地的速度較快，所受的衝擊力變大，容易使車子偏折而偏離軌道，所以翻滾的次數也很少。

表 4：不同車頂長度的翻滾次數

車頂長度 \ 翻滾次數	翻滾次數							去除最大值、最小值之平均	去除最小值取 5 次平均
	1	2	3	4	5	6	7		
23cm	0	3	2	1	2	1	1	1.4	1.8
25cm	3	8	3	6	4	3	8	4.8	5.8
27cm	8	4	1	2	4	6	1	3.4	4.8
29cm	1	2	0	0	0	2	1	0.8	1.2



五、車頂寬度對翻滾次數的影響

說明：分別用不同寬度 4、8、12、16 公分的車頂，進行 45 秒的翻滾次數實驗。

結果：從下表 5 可得知，在 45 秒內，車子平均翻滾的次數，由多至少依序為(如下)

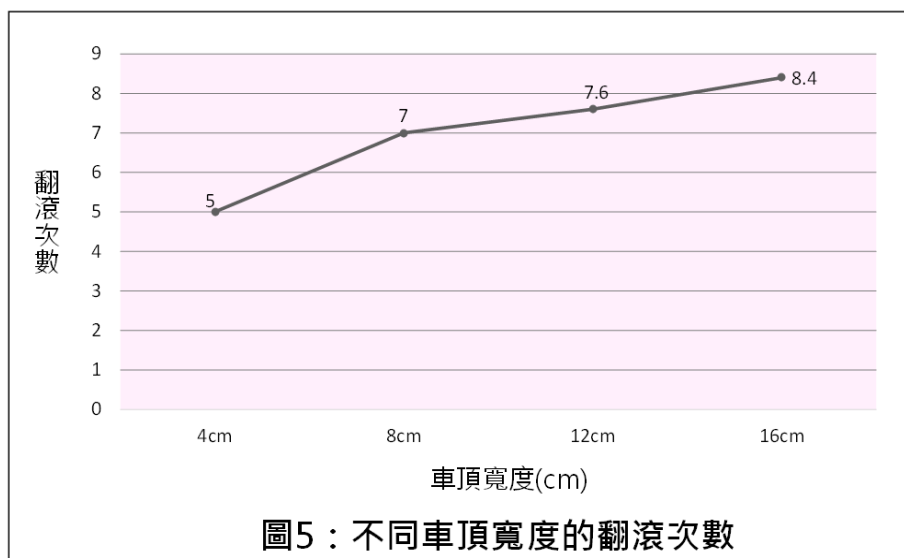
- ◆車頂寬度 16 公分，翻滾次數為 8.4 圈
- ◆車頂寬度 12 公分，翻滾次數為 7.6 圈
- ◆車頂寬度 8 公分，翻滾次數為 7 圈
- ◆車頂寬度 4 公分，翻滾次數為 5 圈



車頂寬度為 16 公分的車子，因為車頂寬度最寬，所以車頂與跑道之間的接觸面積會最大，當車子在翻滾的時候車身會更加的平穩，也就不易偏離軌道，故翻滾的次數最多。相反的，車頂寬度為 4 公分的車子，車頂與跑道之間的接觸面積最小，支撐力也較小，造成在翻滾的過程中容易翻車，或是車子產生偏折而導致軌跡偏移，所以翻滾的次數是最少的。

表 5：不同車頂寬度的翻滾次數

翻滾次數 車頂寬度	1	2	3	4	5	6	7	去除最大值、 最小值之平均	去除最小值 取 5 次平均
4cm	2	7	1	6	7	0	3	3.8	5
8cm	10	8	1	12	2	3	2	5	7
12cm	11	5	2	4	7	6	9	6.2	7.6
16cm	7	4	7	5	4	9	4	6.4	8.4



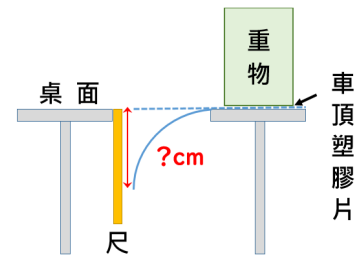
六、車頂硬度對翻滾次數的影響

說明：分別用不同硬度 A(3.4cm)、B(5.5cm)、C(6.7cm)、D(7.9cm)的車頂，進行 45 秒的翻滾次數實驗。

註：車頂的硬度由硬至軟，分別為 A(3.4cm) > B(5.5cm) > C(6.7cm) > D(7.9cm)。

結果：從下表 6 可得知，在 45 秒內，車子平均翻滾的次數，由多至少依序為(如下)

- ◆車頂硬度 A(3.4cm)，翻滾次數為 8.6 圈
- ◆車頂硬度 B(5.5cm)，翻滾次數為 5.8 圈
- ◆車頂硬度 C(6.7cm)，翻滾次數為 5 圈
- ◆車頂硬度 D(7.9cm)，翻滾次數為 4.8 圈



車頂硬度為 A(3.4cm)的車子，因為車頂的硬度最硬、彈性最小，當車子翻滾的時候，車頂的受力面積較平均，支撐力也比較好，所以翻滾的次數是最多的。相對的，車頂硬度太軟的車子彈性較好，例如：硬度 C(6.7cm)和 D(7.9cm)，在翻滾的時候，容易產生車頂塌陷變形無法翻滾，或是因彈性太好而彈跳次數多，造成費時及容易偏離軌道。

表 6：不同車頂硬度的翻滾次數

翻滾次數 車頂硬度	1	2	3	4	5	6	7	去除最大值、 最小值之平均	去除最小值 取 5 次平均
A (3.4cm)	1	5	3	5	12	4	17	5.8	8.6
B (5.5cm)	3	8	3	6	4	3	8	4.8	5.8
C (6.7cm)	3	2	4	7	8	3	1	3.8	5
D (7.9cm)	7	4	6	0	5	2	0	3.4	4.8

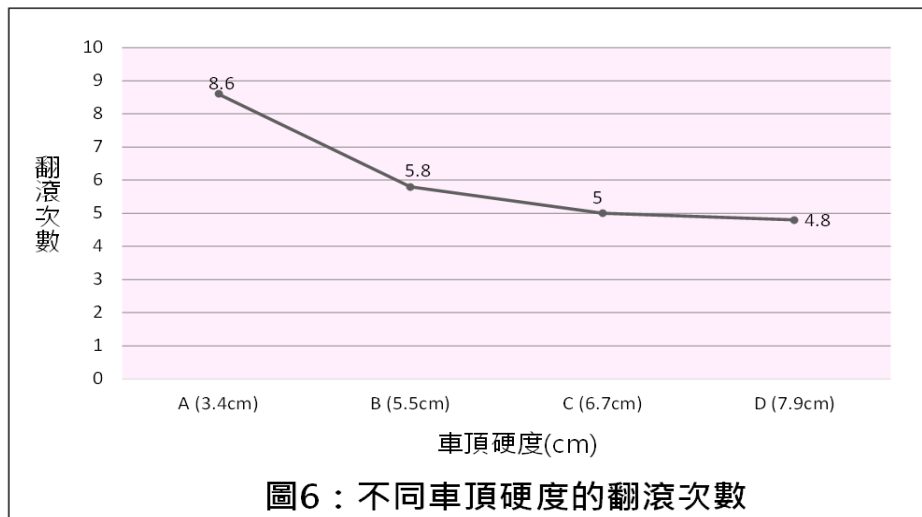


圖 6：不同車頂硬度的翻滾次數

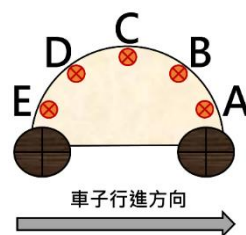
七、重心位置對翻滾次數的影響

說明：分別將 2 顆共重 48 公克的乾電池，黏貼在車頂下方不同的位置 A-前(1.5cm)、B-中前(4.5cm)、C-中(7.5cm)、D-中後(10.5cm)、E-後(13.5cm)，進行 45 秒的翻滾次數實驗。(註：A~E 的數值(cm)，分別代表電池的垂直點到車頭的距離。)

結果：從下表 7 可得知，在 45 秒內，車子平均翻滾的次數，由多至少依序為(如下)

- ◆重心位置 A-前(1.5cm)，翻滾次數為 5.8 圈
- ◆重心位置 B-中前(4.5cm)，翻滾次數為 4.2 圈
- ◆重心位置 C-中(7.5cm)，翻滾次數為 2.4 圈
- ◆重心位置 D-中後(10.5cm)，翻滾次數為 1.6 圈
- ◆重心位置 E-後(13.5cm)，翻滾次數為 0.4 圈

重心位置示意圖



重心位置在 A-前(1.5cm)的車子，在翻滾的時候，因為受到重力的影響，向後用的力量較大，所以翻滾的速度比較快，翻滾的次數也就比較多。而重心位置在 E-後(13.5cm)的車子，因為車子後方的重量太重，導致車子在爬坡時容易卡在坡道上形成前輪一直在空轉的現象，又或者在翻滾時，因為後方太重以致於前輪碰不到地面，根本翻不回正面。

表 7：不同重心位置的翻滾次數

重心位置	翻滾次數	1	2	3	4	5	6	7	去除最大值、最小值之平均	去除最小值取 5 次平均
		1	2	3	4	5	6	7		
A-前(1.5cm)		7	5	4	11	1	2	1	3.8	5.8
B-中前(4.5cm)		5	2	0	2	0	6	6	3.6	4.2
C-中(7.5cm)		0	6	0	4	1	1	0	1.2	2.4
D-中後(10.5cm)		0	3	0	2	0	1	2	1	1.6
E-後(13.5cm)		0	1	0	0	0	0	1	0.2	0.4

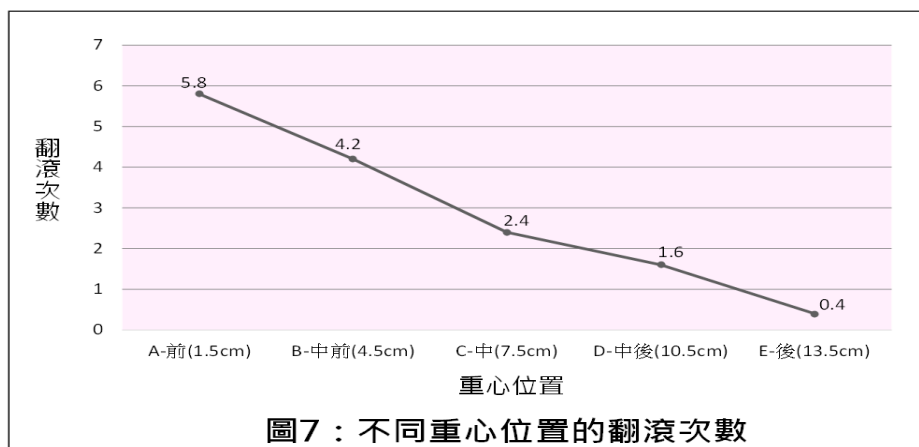
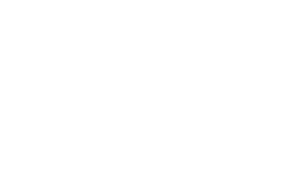
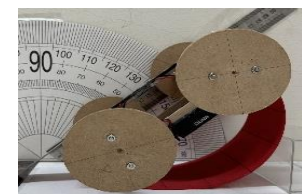
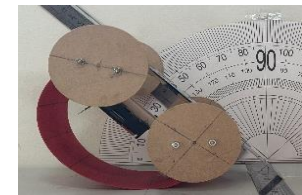
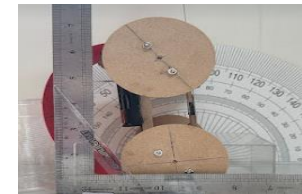
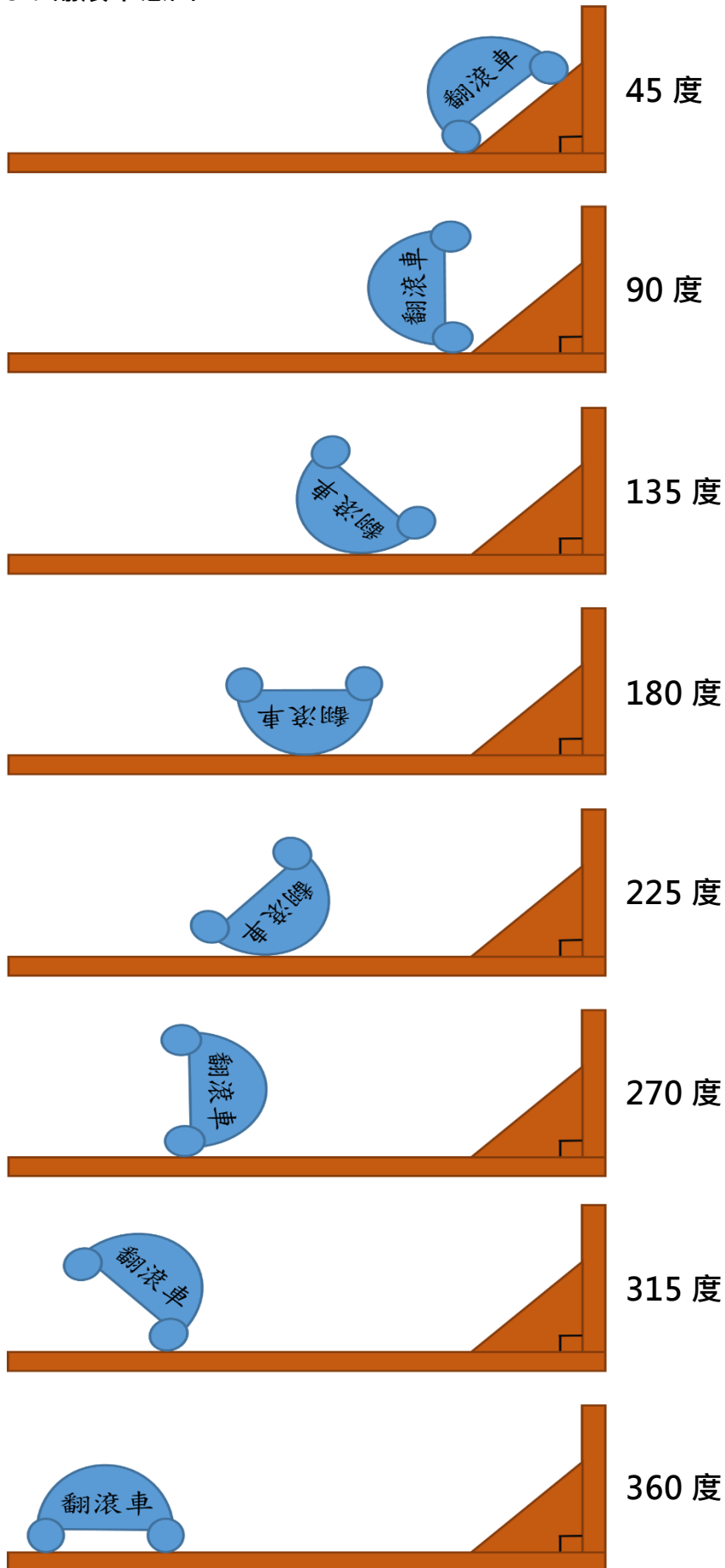
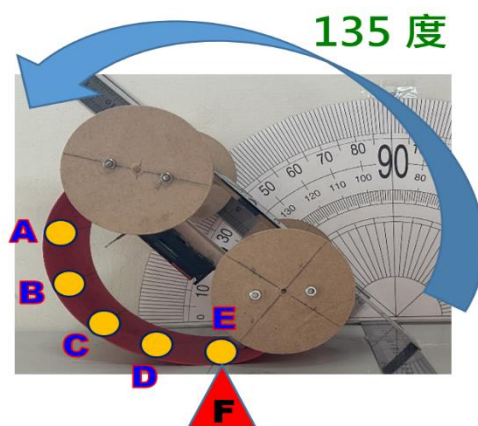


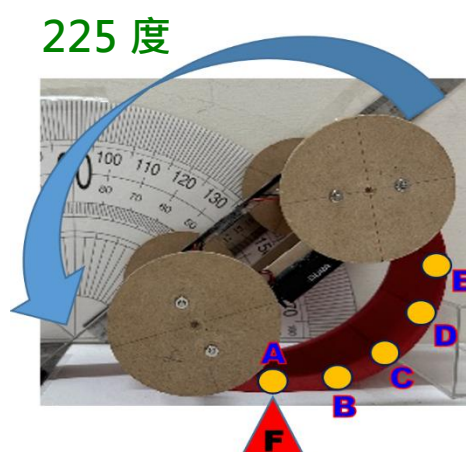
圖 8：翻滾示意圖



以圖 8 為例，當車輛翻滾至 135 度時，車輛具有逆時針翻滾的慣性，而此時 A(前)位置的電池以 F 為支點，有 8.9 cm 的力臂 (如表 8 所示)，且會造成逆時針方向的力矩，有利於車輛逆時針翻滾回正至 360 度。



以圖 8 為例，當車輛翻滾至 225 度時，車輛具有逆時針翻滾的慣性，而此時 A(前)位置為支點，而 E(後)位置的電池有 8.9 cm 的力臂 (如表 8 所示)，且會造成順時針方向的力矩，使得車輛不容易以逆時針方向翻滾回正至 360 度。



綜合上述分析，可證明重心置於車輛前方，有利於車輛翻轉回正。而重心置於車輛後方，則不利於車輛翻轉回正。

表 8：電池造成的施力臂長度 (單位：公分)

翻滾角度	45 度	135 度	180 度	225 度	315 度
增加電池位置					
A-前 (1.5cm)	-4.8	8.9	6.5	0	-4.8
B-中前 (4.5cm)	-1.7	7.3	3.5	-3.2	-4.1
C-中 (7.5cm)	-3	6	0	-6	-3
D-中後 (10.5cm)	4.1	3.2	-3.5	-7.3	1.7
E-後 (13.5cm)	5	0	-6.5	-8.9	4.8

(-)表示順時針翻滾；(+)表示逆時針翻滾

伍、討論

- 一、車輪的直徑越小，爬坡力越好、行駛速度越快，但是容易因為車子底盤過低，導致在爬坡的時候撞擊至坡道，而使得馬達損壞，或無法順利翻滾成功。車輪的直徑越大，爬坡力越差、行駛速度越慢，造成在爬坡的時候，因為馬力不足而無法順利翻滾成功。車輪直徑為 6 cm 的車子，因為車子底盤會撞擊到爬坡面而卡住，造成無法翻滾成功。車輪直徑 10 cm 的車子，因為車體過重、馬力不足，時常停滯在爬坡道，翻滾次數也幾乎為零。所以，車輪直徑的大小，需要配合車身大小、馬達的馬力，方能達到最佳效果，本實驗中，以車輪直徑 8 cm 的車子，翻滾效果最好、次數最多。
- 二、車輪的寬度越寬，則翻滾次數越多。實驗中，我們觀察到車輪越寬與跑道的接觸面積越大，在行駛過程中穩定性就能更高，當車子要翻滾回正面，後車輪落地的那一刻，因車輪較寬，車身較不易晃動，可以減少車子行駛出跑道的機率。車輪寬 6 mm 的車子，因車輪較窄，則易發生車輪卡在跑道的凹槽內、行駛偏離軌道的現象，因此車輪較寬能提高翻滾的次數。
- 三、車輪表面材質不同時，則翻滾次數以絕緣膠帶>熱熔膠>桌球拍面>氣球>砂紙。材質不同所形成的摩擦力也不同，摩擦力越大、阻力越大，翻滾的次數越少，實驗中，砂紙的靜摩擦力最大，不論是在行駛中或爬坡，因阻力太力所耗費的時間最多，故翻滾的次數最少。材質表面是否平整，也會影響翻滾次數，表面凹凸不平越是明顯的，越容易使車子在行駛間偏離軌道，故材質是桌球拍面、熱熔膠的翻滾次數也很少。
- 四、車頂的長度會影響車子整體的外型弧度以及翻滾時的距離。車頂長度越短，外型越接近方形，越不利於翻滾，易發生車子在翻滾時翻車或偏移；車頂長度越長，外型越接近長橢圓形，翻滾時不但因為支撐力不夠而發生車頂變形，使其車子翻不回正面，也因為車頂太長而增加翻滾時的距離及時間，本實驗中，長度 23 cm 最短的車頂和 29 cm 最長的車頂，翻滾次數最少。
- 五、車頂的寬度越寬，則翻滾的次數越多。實驗中，我們觀察到車頂寬度 16 cm 的車子在翻滾的過程中，比寬度 4 cm 的車子還要更加平穩，寬度 4 cm 的車子在翻滾時容易翻車或

偏折而跑出軌道，因為車頂的寬度越寬，在翻滾時與軌道的接觸面積越大、受力越平均，也就不易偏離軌道，進而翻滾次數越多。

六、車頂的硬度越高、彈性越低、支撐力越好，則翻滾次數越多。實驗中，車頂硬度最硬的車子之平均翻滾次數，大約是車頂硬度最軟的車子的 2 倍，我們觀察到硬度 A (3.4cm) 的車子，在翻滾的過程中，車頂不易塌陷變形，而硬度 D (7.9cm) 的車子，因為硬度最低、彈性最好，在翻滾時不但車頂凹陷，造成彈跳次數多，最終導致車子翻回正面時容易偏離軌道又費時。

七、重心位置越往前，則翻滾次數越多。當車子在爬坡時，若重心位置在前方，此時受到重力和慣性定律的影響，會形成一股往後用的助力而幫助車子快速的往後翻滾，若重心位置是在後方，反而會形成一股阻力，導致車子連爬坡都困難，翻滾的機率幾乎是零，所以重心位置需在前方，才能使翻滾次數增加。

陸、結論

一、車輪大小對翻滾次數的影響

車輪直徑小，爬坡力強、行駛速度快，但容易造成車子底盤過低，在爬坡時撞擊坡面而失敗。反之，車輪直徑大，爬坡力弱、行駛速度慢，造成車子停滯在爬坡道的窘況。由此證明，車輪的直徑大小與車身的長寬、馬達的馬力強弱，有著密不可分的關係，本實驗中，以車身大小 15 x 2.5 cm 而言，搭配車輪直徑 8 cm，所能達到的翻滾次數最多。

二、車輪寬度對翻滾次數的影響

車輪的寬度越寬，代表與地面的接觸面積就越大，在行駛過程中越平穩，翻滾時車子越不易搖晃，比較車輪寬度 6 mm 和 22 mm 的平均翻滾次數，從原先的 8.2 圈不斷的提升至 18.5 圈，由此得知，車輪的寬度越寬(本研究為 22 mm)，則翻滾的次數越多。

三、車輪表面材質對翻滾次數的影響

車輪表面材質的摩擦力越大、表面凹凸不平越是明顯，則翻滾的次數越是減少，故增加車輪不同的表面材質，使其摩擦力變大、阻力變大，對翻滾的次數反而無益，因此，維持原先的密集板材質(靜摩擦力 115.5 g)，翻滾次數是最佳的。

四、車頂長度對翻滾次數的影響

車頂的長度會直接影響車子整體的外型，車頂長度越長、車型越接近長條橢圓形，車頂長度越短、車型越接近方形，這兩種車型都不利於翻滾次數的增加，車型要呈現像球體一樣，越圓潤越接近圓形，翻滾效果越好。本實驗中，以車身大小 15 x 2.5 cm 而言，車頂長度為 25 cm 的車型最接近圓形，因此翻滾次數最好。

五、車頂寬度對翻滾次數的影響

車頂的寬度越寬，翻滾時車頂與地面的接觸面積就越大，相對地受力越平均，就不易造成翻車或車子偏折的現象，實驗中，隨著車頂寬度的增加，平均翻滾次數也跟著遞增，由此可見，車頂的寬度越寬(本研究為 16 cm)，則翻滾的次數越多。

六、車頂硬度對翻滾次數的影響

車頂的硬度越高、彈性越低、支撐力越佳，在翻滾的過程中，不易造成車頂變形。反之，車頂的硬度越低、彈性越高、支撐力越差，在翻滾時車頂易凹陷變形而導致車子翻車或偏離軌道，因此，車頂的硬度越高(本研究為 A, 3.4 cm)，則翻滾次數越多。

七、車子重心位置對翻滾次數的影響

在爬坡的時候，車子的重心位置越往前，受到重力和慣性的影響，越容易向後翻滾，因此翻滾的次數越高。反之，重心位置越往後，助力變阻力，翻滾次數幾乎是零，故重心位置在前方(本研究為 A-前 1.5 cm)，翻滾次數越好。

綜觀以上，車輪的直徑大小、車頂的長度長短，皆需要配合車體本身大小來做調整及設計，車輪與車頂長度的數值過大或過小都不利於翻滾次數的增加，需考量到整體的車型搭配，越接近圓弧狀，才能有利於翻滾；然而，增加車輪表面材質的摩擦力，導致行駛時阻力太大，則會降低翻滾次數。此外，增加車輪及車頂的寬度，會使翻滾時與地面的接觸面積變大，有助於翻滾次數的提升；而且車頂的硬度越硬，翻滾時支撐力越好。最後，將重心位置設置於車子的前方，藉由重力與慣性的作用，也是能增加翻滾次數的重要因素。

柒、參考文獻資料

壹、中文部分

東方編輯小組 (2006 動力大應用)。臺北市：台灣東方。

張晉霖總編 (2000 小牛津兒童基礎百科-物理科技)。新北市：小牛津國際文化。

洪榮昭 (2020 PowerTech 仿生機器人製作與設計知識寶典)。新北市：謳馨。

貳、網路資源

創意機構設計學習網，取自 http://pmcl.mt.ntnu.edu.tw/Flan/bus_power.html